

Проявление солнечной активности в температуре поверхности Мирового океана

К.Е. Кириченко, В.А. Коваленко, С.И. Молодых*

*Институт солнечно-земной физики СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126а*

Поступила в редакцию 18.11.2013 г.

Рассмотрено влияние солнечной активности на изменения температуры Мирового океана. Представлены результаты анализа изменения температуры поверхности океана (ТПО), охватывающие временной период с 1854 по 2012 г., и их связи с вариациями солнечной активности. В качестве характеристики солнечной активности выбран aa-индекс геомагнитной активности. Выявлены и обсуждаются закономерности связи изменений ТПО и aa-индекса. Обнаружено, что связь между изменениями ТПО и aa-индекса характеризуется значительной пространственно-временной неоднородностью и носит региональный характер. Установлено, что наиболее значительный вклад солнечной активности в изменения ТПО наблюдается в период с 1910 по 1940 гг., когда тренд возрастания геомагнитной активности наблюдался как в максимальных, так и минимальных значениях.

Ключевые слова: солнечная активность, геомагнитная активность, океан, климат; solar activity, geomagnetic activity, ocean, climate.

Введение

Основными физическими компонентами климатической системы являются океан, атмосфера, суша и криосфера. Эти компоненты определяют теплосодержание земной климатической системы (основным является океан). Эффективность энергообмена в системе «атмосфера—океан—суша» (АОС) связана в первую очередь с контрастами температур водной и воздушной оболочек и фазовым различием сезонного хода термических характеристик океана и атмосферы. При оценке роли различных компонентов климатической системы необходимо учитывать различие их теплоемкостей. Принимая во внимание для океана только верхний деятельный слой толщиной около 200 м, где отчетливо выражены сезонные колебания, толщину деятельного слоя суши 10 м, соотношение теплоемкостей А:О:С будем считать равным 1:60:0,5. Амплитуда годовых колебаний температуры в атмосфере превышает 100 °С, а в отдельных частях океана достигает 15 °С, т.е. амплитуды годовых колебаний температуры поверхности океана и воздуха различаются в 5 раз [1].

Океаны играют важную роль в климатической системе, так как являются аккумулятором солнечной радиации и активно участвуют в глобальном перераспределении тепла между тропическими и полярными районами. Обладая огромной теплоемкостью, океаны оказывают стабилизирующее влияние на атмосферу. Тепловые потоки через поверхность океана

и их временная изменчивость являются определяющим фактором в процессе крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы.

Отсюда следует, что роль океанического компонента на порядок превышает роль атмосферного в формировании тепловой изменчивости климатической системы. Изменение глобального климата в значительной степени определяется теплосодержанием деятельного слоя океана, и в связи с этим изучение проявления солнечной активности в ТПО представляет особый интерес.

Используемые данные

В исследовании использовались данные наблюдений: температуры поверхности океана (ТПО) — из открытой базы данных сети наблюдений (NOAA) за 1854–2012 гг. [2]; aa-индекса геомагнитной активности, охватывающие период с 1844 по 2012 г. За период с 1844 по 1867 г. значения aa-индекса были реконструированы на основе измерения магнитного склонения [3], за период 1868–2012 гг. были получены из базы данных ISGI [4], значения площади льда в Арктическом бассейне из открытой базы [5].

Долговременные изменения температуры поверхности океана

Изменение глобального климата связано с изменением теплосодержания земной климатической системы, подавляющая часть которого определяется океаном. Радиационный баланс Земли характеризуется тем, что на низких широтах поглощенная земной системой

* Кирилл Евгеньевич Кириченко (kirichenko@iszf.irk.ru); Владимир Афанасьевич Коваленко (vak@iszf.irk.ru); Сергей Иванович Молодых (sim@iszf.irk.ru).

солнечная радиация превосходит потери за счет излучения. В высоких широтах имеет место обратная картина — здесь потери тепла превосходят количество поглощенной солнечной радиации. Наблюдаемое климатическое распределение температуры на Земле поддерживается за счет межширотного переноса энергии. Эту климатическую функцию выполняют системы циркуляции в атмосфере и Мировом океане. В связи с этим климатическая система оказывается чувствительной к изменениям потерь тепла в высокоширотных областях и соответствующим изменениям меридионального градиента температуры и оттока тепла от низкоширотных областей. Следовательно, изменения потерь в высокоширотных областях могут заметно влиять на теплосодержание земной климатической системы и климат. Эти особенности функционирования климатической системы являясь одним из основных элементов модели влияния солнечной активности на погоду и климат Земли, разрабатываемой авторами [6, 7].

В конце XIX в. началось потепление, которое, за исключением интервала 1940–1970 гг., продолжалось до 2000 г. Средняя глобальная температура повысилась за последние 100 лет на 0,7 °С. Рост средней глобальной температуры воздуха в последние 100 лет был немонотонным. Это проявилось, например, в том, что потепление климата в XX в. происходило в течение двух периодов: 1910–1945 и 1977–2000 гг., а после 2000 г., как видно на рис. 1, возрастание температуры практически прекратилось, геомагнитная активность существенно уменьшилась, в то время как содержание парниковых газов в атмосфере продолжает возрастать. Эта важная особенность отмечается в ряде других работ, в которых анализируется природа долговременных изменений глобальной температуры [8–10].

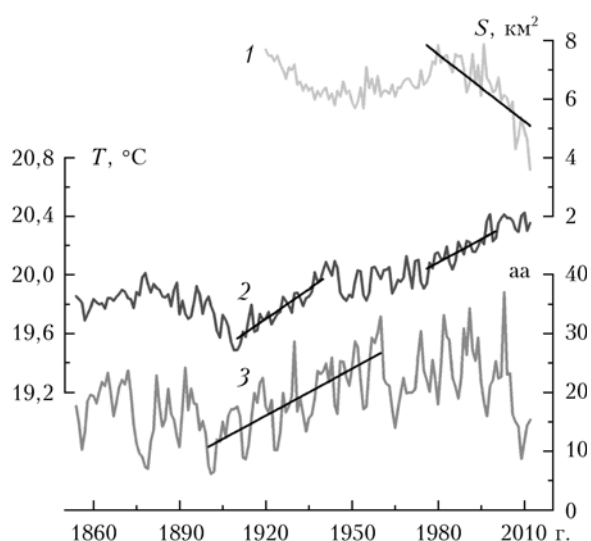


Рис. 1. Среднегодовые значения: 1 — изменения площади льда в Арктике; 2 — температуры поверхности океана в зоне 60° с.ш.—60° ю.ш.; 0–360°; 3 — аа-индекса геомагнитной активности

Увеличение солнечной и геомагнитной активности в начале XX в. совпало с положительной фазой

Северного Атлантического колебания [11], которое способствовало интенсификации межширотного переноса тепла в атмосфере и океане за счет интенсивного энергообмена, связанного с ветровым напряжением у поверхности океана, особенно в Северной Атлантике [12]. Это сопровождалось усилением меридиональной циркуляции в атмосфере и поверхностных водах океана, соответствующим интенсивному меридиональному переносу тепла в Арктику в 1900–1940 гг. Увеличение температуры тропосферы в период 1910–1940 гг. началось раньше в полярных областях с запаздыванием относительно возрастания геомагнитной активности примерно на 10 лет, которое связано с большой теплоемкостью Арктического бассейна. В соответствии с моделью влияния солнечной активности на климатическую систему Земли [6, 8] возрастание геомагнитной активности привело к уменьшению радиационного выхолаживания и возрастанию температуры в высокоширотных областях.

Следует отметить и подчеркнуть значимую роль изменений площади морского льда в Арктическом бассейне как для первого, так и второго периодов потепления. С некоторым запаздыванием (1920–1940 гг.) начались эффективное таяние морского льда в Арктическом бассейне и сокращение его площади в теплый сезон (рис. 1). В период второй фазы глобального потепления (1980–2000 гг.) также наблюдалось уменьшение площади морского льда во все сезоны, наиболее значительное в Тихоокеанском регионе в теплый период. Кроме того, в этом регионе значительно усилилась эффективность энергообмена океан–атмосфера [13]. Уменьшение площади морского льда усиливает воздействие потепления за счет положительной обратной связи «потепление–уменьшение ледовитости–уменьшение альbedo–повышение температуры воздуха». Именно в этот период наблюдается аномальное увеличение приземной температуры воздуха и ТПО, особенно значительное в полярных областях Северного полушария [14]. Следует подчеркнуть, что эффективность положительной обратной связи между температурой и площадью льда значительно больше во второй период потепления, так как толщина льда была в 1,5 раза меньше, чем в первый период [12].

Проявление солнечной активности в температуре поверхности океана

В соответствии с основными положениями модели влияния солнечной активности на тропосферу, предложенными авторами [8], был проведен анализ связи долговременных изменений ТПО и геомагнитной активности на основе данных наблюдений. Оказалось, что ТПО коррелирует с геомагнитной активностью (см. рис. 1), а степень связи изменений ТПО с вариациями геомагнитной активности существенно зависит от периода осреднения (таблица). При увеличении периода сглаживания коэффициент корреляции значительно возрастает от 0,45 до 0,90. Наблюдаемая зависимость от временного масштаба обусловлена тем, что большая часть вариаций с временным масштабом меньше 5 лет обусловлена процессами, не связанными с геомагнитной активностью

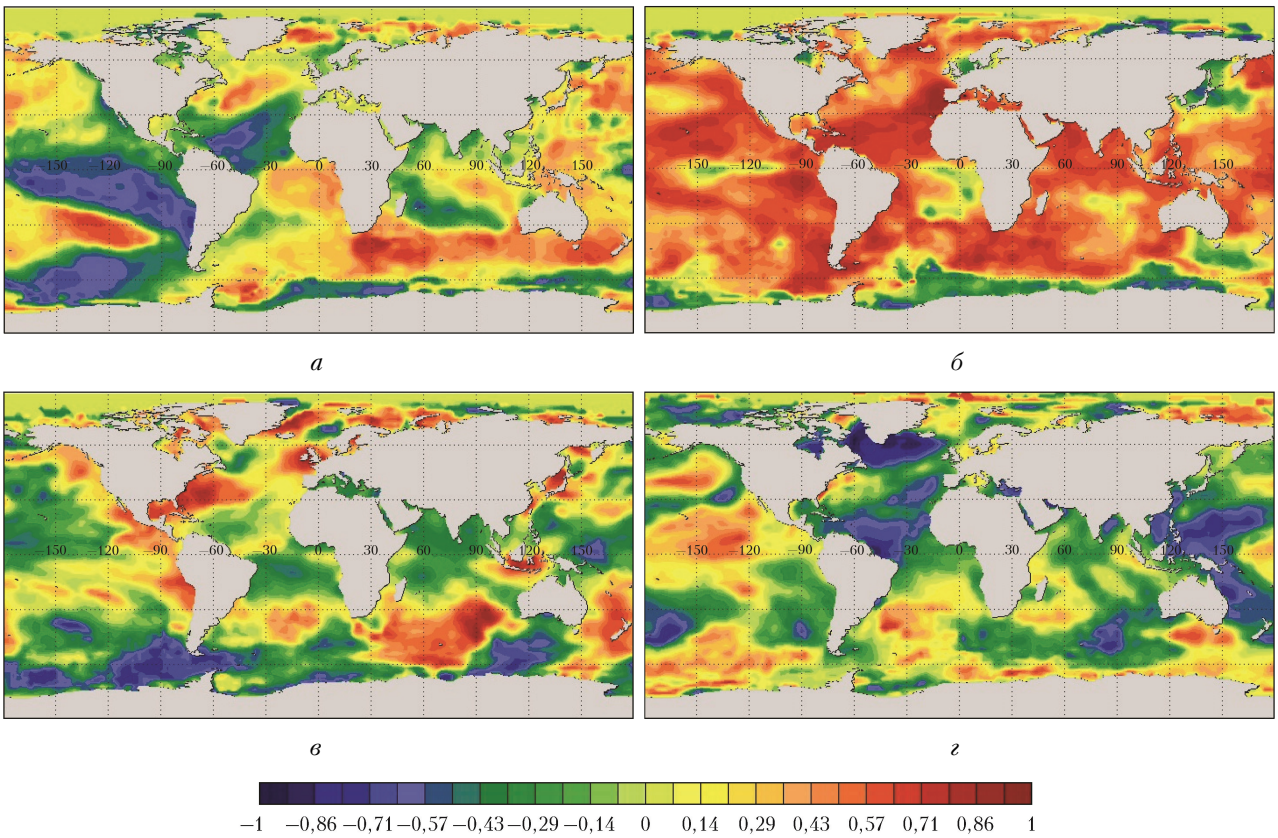


Рис. 2. Карта корреляций сглаженных по пяти годам значений aa-индекса и ТПО для разных эпох: *a* – 1868–1910; *б* – 1910–1948; *в* – 1948–1976; *г* – 1976–2000 гг.

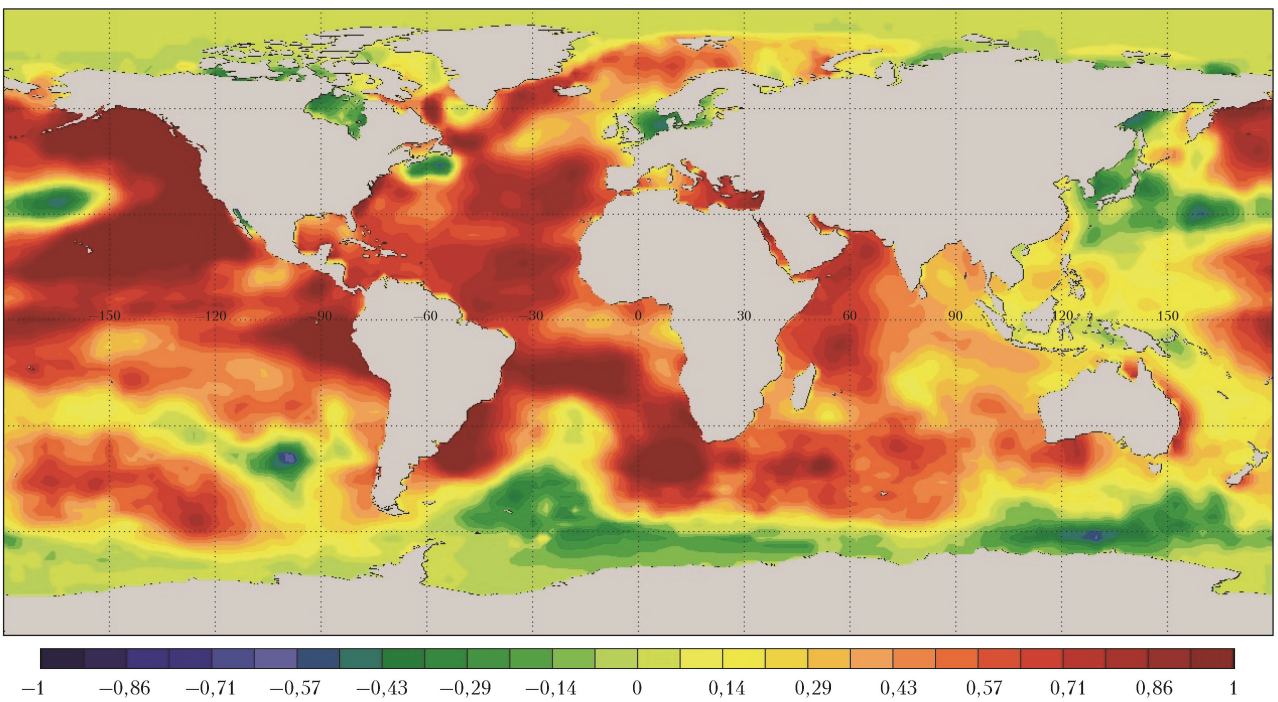


Рис. 3. Разность среднегодовых значений ТПО между периодом высокой (1938–1942) и самой низкой (1908–1912) геомагнитной активности

(квазидвухлетние вариации, Эль-Ниньо, Ла-Ниньо, вулканы).

Коэффициенты корреляции между среднегодовыми значениями ТПО и аа-индексом за различные периоды сглаживания

Географическая область	Годовые значения	Сглаженные по количеству лет			
		3	5	11	21
60° с.ш.–60° ю.ш.; 0–360°	0,36	0,44	0,51	0,70	0,84
0–60° с.ш.; 0–360°	0,33	0,40	0,48	0,67	0,83
0–60° ю.ш.; 0–360°	0,37	0,45	0,52	0,68	0,79
20–40° ю.ш.; 60–70° з.д. (Атлантика)	0,44	0,55	0,63	0,77	0,88
10–30° ю.ш.; 140–160° з.д. (Тихий океан)	0,37	0,49	0,58	0,78	0,91
35–55° ю.ш.; 0–40° в.д. (Индийский океан)	0,57	0,69	0,78	0,89	0,96

Для более детального выявления пространственной структуры отклика ТПО на воздействие геомагнитной активности были построены карты пространственного распределения коэффициента корреляции между ТПО и аа-индексом для климатических эпох (рис. 2, цв. вклейка), соответствующие различным фазам Северного Атлантического колебания (квазишестидесятилетней вариации).

В период с 1868 по 1910 г. (рис. 2, а) связь между изменениями в ТПО и аа-индексе отрицательна для высоких широт и приэкваториальной области Южного полушария в Тихоокеанском секторе, которая совпадает с районом проявления Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК). В Атлантическом океане знак связи отрицателен в области 0–30° с.ш., где также существует влияние ЭНЮК. Области с положительными значениями корреляции наблюдаются на широтах 30–45° ю.ш. для Тихого океана и 30–60° ю.ш. для Индийского океана на 15–120° в.д.

В период незначительного похолодания в ТПО (рис. 2, в) (1948–1976) пространственная структура отклика изменилась. Так, положительные значения корреляции отмечаются в Северном полушарии вблизи восточных берегов США, Европы и Гренландии, а в Южном – в области Индийского океана (30–60° ю.ш.). Для второго периода потепления ТПО (рис. 2, з) (1976–2000) связь между температурой поверхности океана и геомагнитной активностью менее выражена и носит отрицательный региональный характер, особенно в Атлантическом океане Северного полушария и на низких широтах западной части Тихого океана (восточные берега Индонезии и Австралии). Как упоминалось выше, этот период сопровождается уменьшением площади льда в Арктическом бассейне (см. рис. 1).

Очевидно, что климатический отклик в ТПО на воздействие солнечной и геомагнитной активности характеризуется значительной пространственно-временной неоднородностью и носит региональный характер. Особенностью этих распределений является наличие областей как положительной, так и отрицательной корреляции. Исключением является эпоха (рис. 2, б)

(1910–1940 гг.), в которую отклик на геомагнитную активность в ТПО был положительным практически во всех регионах, т.е. носил глобальный характер. Эта эпоха соответствует наиболее длительному периоду возрастания геомагнитной активности в рассмотренный период, в конце которого среднегодовые минимальные значения геомагнитной активности превысили максимальные в начале эпохи (см. рис. 1).

Региональность климатического отклика при глобальном воздействии долговременных вариаций солнечной активности обусловлена влиянием циркуляционных процессов в поверхностном слое океана и атмосферы [1].

Для изучения пространственных изменений ТПО в период (1910–1948), когда положительный отклик на геомагнитную активность носил глобальный характер, была построена карта изменения температур от периода высокой геомагнитной активности к низкой (рис. 3, цв. вклейка).

Очевидно, что областям наибольших возрастных температур соответствуют области максимальных положительных значений коэффициентов корреляции (см. рис. 2, б). Это дополнительно подтверждает достоверность и значимость влияния солнечной активности на изменение одной из важнейших компонент климатической системы.

Заключение

На основе данных наблюдений проведен анализ связи долговременных изменений ТПО и геомагнитной активности. Показано, что ТПО коррелирует с геомагнитной активностью, при этом степень связи существенно зависит от временного масштаба.

Отклик ТПО на воздействие геомагнитной активности характеризуется значительной пространственно-временной неоднородностью, носит региональный характер и зависит от климатической эпохи.

1. Лаппо С.С., Гулев С.К., Рождественский А.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан–атмосфера и энергоактивные области мирового океана. Л.: Гидрометеониздат, 1990. 334 с.
2. URL: <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/cmb/ersst/v3b/netcdf/>
3. Nevanlinna H., Kataja E. An extension of the geomagnetic activity index series aa for two solar cycles (1844–1868) // Geophys. Res. Lett. 1993. V. 20, N 23. P. 2703–2706.
4. URL: <http://isgi.cetp.ipsl.fr/lesdonne.htm>
5. URL: <http://nsidc.org/>
6. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Рубцова О.А. Модель воздействия солнечной активности на климатические характеристики тропосферы Земли // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т. 18, № 12. С. 1042–1050.
7. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И. Основные физические процессы в атмосфере Земли, криосфере и океане, определяющие особенности климатических изменений в XX в. и их связь с солнечной активностью // Солнечно-земная физика. 2011. Вып. 18. С. 40–50.
8. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Кириченко К.Е. Влияние солнечной активности на температуру тропосферы и поверхности океана // Изв. Иркут.

- гос. ун-та. Сер. Науки о земле. 2013. Т. 6, № 1. С. 61–79.
9. *Gray L.J., Beer J., Geller M.* Solar influences on climate // *Rev. Geophys.* 2010. V. 48, N 4. P. 1–53.
10. *Ring M.J., Lindner D., Cross E.F., Schlesinger M.E.* Causes of the Global Warming Observed since the 19th Century // *Atmos. and Climate Sci.* 2012. V. 2, N 4. P. 401–415.
11. *Алексеев Г.В.* Изменение климата Арктики в XX столетии // *Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий.* М.: Наука, 2006. 408 с.
12. *Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М.* Изменения климата Арктики и Антарктики – результат действия естественных причин // *Проблемы Арктики и Антарктики.* 2010. № 2. С. 52–61.
13. *Powell A.M., Jr., Jianjun Xu.* Abrupt Climate Regime Shifts, their Potential Forcing and Fisheries Impacts // *Atmos. and Climate Sci.* 2011. V. 1, N 2. P. 33–47.
14. *Алексеев Г.В., Иванов Н.Е., Пнюшков А.В., Харланенкова Н.Е.* Климатические изменения в морской Арктике в начале XXI века // *Метеорол. и геофиз. исслед.* М.: Paulsen, 2011. С. 6–28.

K.E. Kirichenko, V.A. Kovalenko, S.I. Molodykh. **The manifestation of solar activity in the sea surface temperature.**

The influence of solar activity on changes of ocean temperature is considered. The results are presented of the analysis of changes in sea surface temperature (SST), covering the time period from 1854 to 2012 and their relationship to variations of solar activity. The aa-index of geomagnetic activity was selected as a characteristic of solar activity. The changes are identified in patterns of relationship between SST and the aa-index and discussed in detail. It is found that the relationship between changes in SST and the aa-index shows considerable spatial and temporal inhomogeneity and regional nature. It is determined that the most significant contribution of solar activity into changes in SST was observed in the period from 1910 to 1940, when the trend of increasing geomagnetic activity was observed both in the maximum and minimum values.